

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P7-84-358

С.А.Карамян

НАБЛЮДЕНИЕ
ДОЛГОЖИВУЩЕЙ ЯДЕРНОЙ КВАЗИМОЛЕКУЛЫ
В СИСТЕМЕ $^{20}\text{Ne} + \text{Ge}$

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1984

В работе^{/1/} сообщено, что в столкновениях таких тяжелых ядер, как $U + U$, при энергии около 5,9 МэВ/нукл. образуется в некоторой доле случаев двойная система с временем жизни около $6 \cdot 10^{-20}$ с, что заметно больше времени столкновения. При взаимодействии ядер $^{16}O + ^{12}C$ ^{/2/} обнаружена временная задержка $\sim 10^{-18}$ с вылета продуктов неупругого взаимодействия ядер. Авторы^{/2/} считают, что временная задержка возникает, главным образом, за счет времени вторичного процесса распада возбужденного продукта после его образования в реакции.

В настоящей работе время протекания реакции неупругого взаимодействия ядер ^{20}Ne и Ge измерено с помощью эффекта теней при регистрации мишенеподобных продуктов реакции.

Кинетическая энергия ядер отдачи упругого рассеяния в зависимости от их угла вылета θ в л.с., как известно, дается выражением

$$E_{упр} = \frac{4\gamma E_i}{(1+\gamma)^2} \cos^2 \theta, \quad /1/$$

где $\gamma = A_i / A_T$ - отношение массовых чисел иона и ядра мишени, E_i - энергия иона в л.с. При неупругом рассеянии энергия ядер отдачи под углом θ меньше, чем $E_{упр.}$, и может убывать до нижнего кинематического предела $E_{min} = E_{упр} / 4$. Соответственно имеется верхний кинематический предел степени неупругости реакции $\Delta E_{max}(\theta)$, зависящий от угла:

$$\Delta E_{max} = \frac{E_i}{1+\gamma} \cos^2 \theta, \quad /2/$$

где ΔE - энергия возбуждения продуктов реакции. При уменьшении угла наблюдения в области $\theta < \theta_R$, где θ_R - резерфордовский угол, происходит увеличение степени неупругости процесса. Таким образом, возникает возможность экспериментальной оценки времени протекания реакции в зависимости от степени неупругости с помощью эффекта теней. При этом в качестве эталонного теневого минимума можно использовать минимум, наблюдаемый в области углов, соответствующих упругому и квазиупругому взаимодействию $\theta \geq \theta_R$. На рис.1 показаны зависимости от θ величин $E_{упр.}$, E_{min} и ΔE_{max} для взаимодействия ионов ^{20}Ne с Ge при энергии 102 МэВ. Здесь же дано сравнение измеренной угловой зависимости выхода ядер отдачи с рассчитанным выходом для упругого резерфордовского рассеяния. Видно, что в области углов $\theta > 74^\circ$

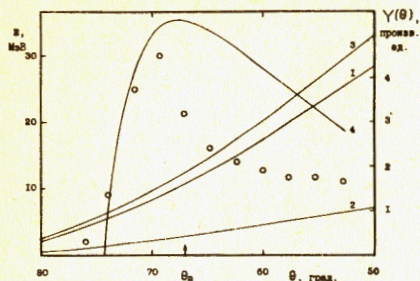


Рис.1. Кривые 1,2,3 - функции $E_{упр}(\theta)$, $E_{мин}(\theta)$, $\Delta E_{max}(\theta)$. Кривая 4 и точки - рассчитанная и измеренная зависимости выхода ядер отдачи от угла наблюдения.

выход обрезается порогом регистрации детектора, а при $\theta \leq \theta_R = 67^\circ$ также происходит резкое убывание выхода за счет исключения канала упругого рассеяния. Область углов $\theta < 65^\circ$ соответствует неупругим взаимодействиям.

Толстый монокристалл ^{76}Ge облучали ионами ^{20}Ne с энергией 102 МэВ. Ядра отдачи упругого и неупругого взаимодействий регистрировали стеклянным трековым детектором в диапазоне углов $\theta = 50-75^\circ$ относительно пучка. Прослежена зависимость формы осевого $\langle 111 \rangle$ и плоскостных $\langle 110 \rangle$ теневых минимумов от угла наблюдения. Угловое разрешение опыта $\pm 0,3^\circ$ обеспечивалось ограничением пучка до диаметра 1 мм. При интенсивности пучка $10^{10} c^{-1}$ монокристалл сохраняет комнатную температуру. Стеклянный трековый детектор обладает энергетическим порогом регистрации ядер Ge, равным 5 МэВ. Вычисленная толщина работающего слоя мишени, зависящая от угла, оказывается небольшой, $\sim 0,5 mg \cdot cm^{-2}$ по нормали. Потери энергии падающих ионов при прохождении работающего слоя составляют 3-4 МэВ. Кроме энергетического порога детектор обладает пороговым свойством отбора частиц по атомному номеру, ядра с $Z < 15$ не создают проявляемых треков в стекле. В эксперименте это проверено помещением Al поглотителя толщиной $1,2 mg \cdot cm^{-2}$ перед стеклом. Треки на детекторе исчезли, что соответствует пробегу мишенеподобных продуктов реакции, но не легких ядер.

Из всего многообразия частиц - продуктов ядерного взаимодействия $^{20}Ne + Ge$ - отбираются таким образом только мишенеподобные продукты упругого и умеренно неупругого взаимодействий. Глубоко-неупругие тяжелые продукты вылетают под углом $< 45^\circ$ к пучку и не попадают на детектор. К глубоко-неупругим относим события с полной кинетической энергией в с.ц.и. меньше V_c , где V_c - кулоновский барьер взаимодействия ядер. Продукты распада составного ядра отсекаются порогом регистрации и диапазоном угла наблюдения. Сечение деления в изучаемой реакции $\langle \sigma_f \rangle \approx 1 \div 10 / mb$ согласно измерениям^[3] / много меньше сечения образования наблюдаемых ядер отдачи неупругого взаимодействия.

На рис.2а показано расположение кристаллографических осей и плоскостей монокристалла Ge относительно пучка, на рис.2б - схематическое изображение теневой картины на плоскости детектора и направления просмотра плоскостных теневых минимумов. Видно,

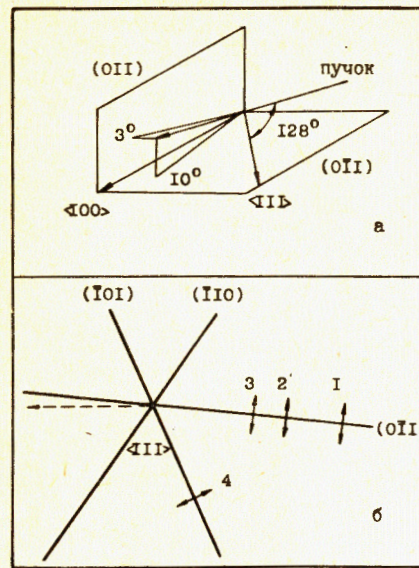
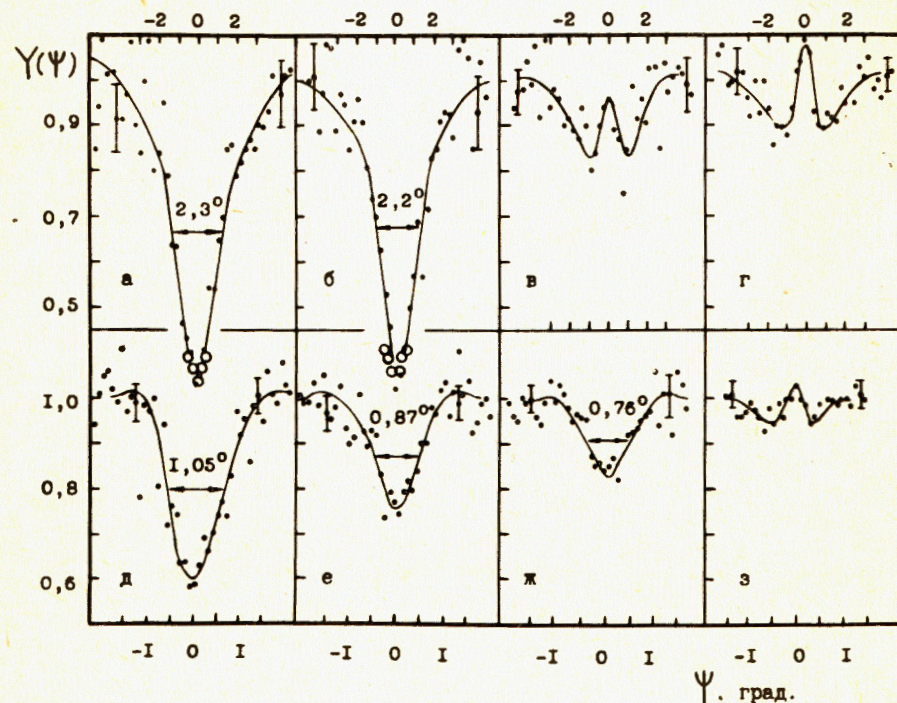


Рис.2. а. Расположение кристаллографических осей и плоскостей относительно пучка. б. Схематическое изображение теневой картины на детекторе. Штриховая линия - проекция пучка на плоскость детектора, 1,2,3,4 - направления просмотра плоскостных теней.

Рис.3. Профили осевых $\langle 111 \rangle$ /а-г/ и плоскостных $\langle 110 \rangle$ /д-з/ теней монокристалла Ge. Направление регистрации ядер отдачи составляет с пучком углы 66, 59, 54, 52° для случаев а,б,в,г и 74, 68, 63, 57,5° - для случаев д, е, ж, з соответственно. Положение регистрации плоскостных теней показаны на рис.2б.



что для каждого угла рассеяния θ можно сделать измерение для плоскостей, составляющих разные углы с пучком, и, кроме того, получить осевую тень. Это существенно для извлечения подробной информации о времени протекания реакции.

Некоторые результаты просмотра теневых минимумов даны на рис.3. Для области углов, соответствующих квазиупругим процессам, наблюдаются как осевые, так и плоскостные тени неплотного качества. Отметим, что приведенные минимумы соответствуют одинаковой дозе ионов, и, следовательно, ухудшение теней за счет радиационного повреждения монокристалла одинаково /и не очень велико/. Значения угловых ширин минимумов учитывают поправку на угловое разрешение опыта. Для углов наблюдения $58^\circ > \theta > 52^\circ$ теневые минимумы постепенно исчезают с уменьшением θ , появляется характерная структура с максимумом в центре, которая показывает большое смещение излучающего объекта из узла кристаллической решетки.

Влияние времени жизни распадающегося ядра* на теневой минимум принято характеризовать относительным параметром $R = \Omega_\tau / \Omega_0$, где Ω - полный объем осевой или площадь плоскостной тени. Субскрипт 0 относится к эталонной тени, соответствующей малой временной задержке реакции, τ - к тени, существенно измененной за счет немалого времени протекания реакции. Величина R имеет физический смысл доли ядер, распавшихся за время, меньшее чем $t = r_c / v_\perp$, где r_c - параметр обрезания атомного потенциала оси или плоскости, v_\perp - нормальная составляющая скорости распадающегося ядра. Так как угловая ширина тени ψ несколько меняется с углом θ вследствие изменения энергии продуктов реакции, то при определении отношения R учитывались значения ψ следующим образом: $R = \Omega_\tau \psi_\theta / \Omega_0 \psi_\tau$. На рис.4а показаны измеренные величины R в зависимости от угла рассеяния θ или от степени неупругости процесса ΔE_{\max} . Видно, что доля быстрораспадающихся ядер убывает с ростом степени неупругости процесса. Наблюдается соответствие между результатами, относящимися к оси $\langle 111 \rangle$ и плоскостям $/0\bar{1}1/$, $/101/$. Согласно известным данным⁴⁻⁷ о формировании эффекта теней при взаимодействии частиц с монокристаллом, величина r_c для плоскостного случая составляет $r_c \approx a_{TF}$, а для осевого - $r_c \approx 6 a_{TF}$. Параметр Томаса-Ферми $a_{TF} = 0,104 \text{ \AA}$ для взаимодействия ядер Ge с монокристаллом Ge. Следовательно, значения $t = r_c / v_\perp$ равны $1,5 \sin^{-1} \alpha \text{ ac}$ и $9,2 \sin^{-1} \theta \text{ ac}$ для плоскостных и осевых теней соответственно, где α - угол между пучком и плоскостью. Используя значения R , измеренные для оси $\langle 111 \rangle$ и двух плоскостей, составляющих разные углы с пучком, можно получить результат, относящийся к временному распределению со-

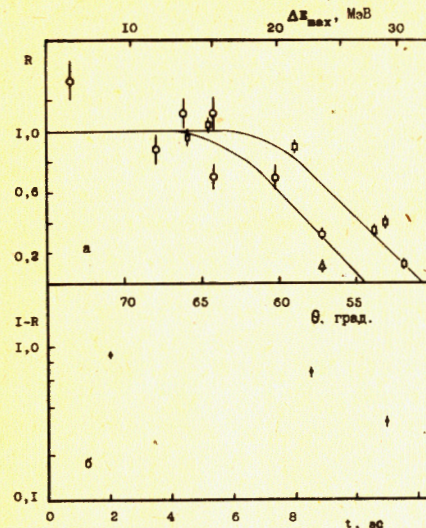


Рис.4. а. Относительная интенсивность эффекта теней R . Точки \circ - кристаллографическая ось $\langle 111 \rangle$, \square - плоскость $/0\bar{1}1/$, \triangle - плоскость $/101/$. б. Величина $1 - R$ для $\theta = 57,5^\circ$ в зависимости от времени t .

бытий распада. На рис.4б дана зависимость величины $1-R$ от времени для ядер отдачи, вылетающих под углом $57,5^\circ$ к пучку. Величина $1-R$, имеющая смысл доли ядер, не распавшихся за время $t = r_c / v_\perp$, в случае экспоненциального распада равна $1 - R = e^{-t/\tau}$. Точки на рис.4б не укладываются на экспоненте, они лучше отве-

чают временному распределению с максимумом при значении $t \sim 9 \text{ ac}$. Длительное существование системы взаимодействующих ядер означает, что угловое распределение продуктов в с.ц.и. должно быть симметричным относительно 90° . С использованием трекового детектора из пластика, нечувствительного к α -частицам и протонам, зафиксирована соответствующая величина выхода частицеподобных продуктов реакции в заднюю полусферу вплоть до углов, близких к 180° .

Таким образом, наблюдалась временная задержка $\sim 10^{-17}$ с событий реакции испускания мишенеподобных продуктов неупругого взаимодействия ядер ^{20}Ne и Ge. Это время много больше периода вращения $T \approx 4 \cdot 10^{-21}$ с двойной ядерной системы с угловым моментом, близким $l_{\max} = 49 \hbar$. Поэтому речь идет о наблюдении долгоживущей ядерной квазимолекулы $^{20}\text{Ne} + \text{Ge}$. В данном случае, по-видимому, нет возможности объяснить наблюдаемую временную задержку событий каким-либо другим путем - ни как время вторичного процесса распада возбужденного продукта^{2/}, ни как время деления составного ядра^{8/}.

Интересно отметить, что наблюдение относится к умеренно неупругим реакциям, следовательно, длительное существование квазимолекулы не приводит к полной диссипации кинетической энергии относительного движения ядер. Она имеет, вероятно, форму энергии периодических колебаний или вращения.

Автор благодарен И.Н.Егошину за предоставление монокристалла Ge и группе эксплуатации циклотрона У-300 за получение пучков ионов с нужными параметрами.

* Здесь и ниже для упрощения говорится о распаде ядра вместо действительного распада ядерной квазимолекулы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kienle P. Intern. School-Seminar on Heavy-Ion Physics. JINR, D7-83-644, Dubna, 1983, p. 216.
2. Gomez del Campo J. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, 51, p. 451.
3. Cabot C. et al. Nucl.Phys., 1975, A244, p. 134.
4. Maruyama M. et al. Nucl.Phys., 1970, A145, p. 581.
5. Andersen J.U. et al. Nucl.Phys., 1975, A241, p. 317.
6. Gibson W.M. et al. Nucl.Phys., 1979, A317, p. 313.
7. Меликов Ю.В. и др. Труды IX Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М., Изд-во МГУ, 1979, с. 30.
8. Бугров В.Н., Карамян С.А. ОИЯИ, P7-83-809, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 мая 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Карамян С.А.

P7-84-358

Наблюдение долгоживущей ядерной квазимолекулы в системе $^{20}\text{Ne} + \text{Ge}$

Монокристалл германия облучали ионами ^{20}Ne с энергией 102 МэВ. Теневые минимумы в угловом распределении ядер отдачи упругого и неупругого взаимодействий фиксировались стеклянным трековым детектором. Обнаружено почти полное исчезновение теневых минимумов в области углов вылета тяжелых продуктов $\theta = 58-52^\circ$. Соответствующее время протекания реакции $\sim 10^{-17}$ с.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Karamian S.A.

P7-84-358

Observation of a Long-Lived Nuclear Quasimolecule in the $^{20}\text{Ne} + \text{Ge}$ System

Germanium single crystal was irradiated by 102 MeV ^{20}Ne ions. For the nuclei, recoiled at the elastic and inelastic nuclear interaction, blocking effect minima are fixed at the angular distribution. The minima have almost disappeared for the target-like product emission angles $\theta = 58-52^\circ$ relatively to the beam. Corresponding duration time of the reaction is about 10^{-17} s.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984